



## **Mapeamento da Suscetibilidade a Alagamentos em Área Urbana de Vitória de Santo Antão–PE**

### **Diego Deyvison dos Santos**

Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

diego.dsantos@ufpe.br

ORCID: 0000-0003-4446-9065

### **Diogo Henrique Fernandes da Paz**

Professor Doutor em Engenharia Civil  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Brasil  
diogo.henriquepaz@ufpe.br

ORCID: 0000-0003-0507-0545

### **Edevaldo Miguel Alves**

Professor Doutor em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Pernambuco  
edevaldo.miguel@ufpe.br

ORCID: 0000-0002-1709-0861

### **Erika Alves de Meneses**

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
erika.meneses@ufpe.br

ORCID: 0009-0000-7888-3390

Submissão / Submission: 26/01/2026

Aceito / Acceptance: 28/06/2026

SANTOS, Diego Deyvison dos; PAZ, Diogo Henrique Fernandes da; ALVES, Edevaldo Miguel; MENESES, Erika Alves de. Mapeamento da Suscetibilidade a Alagamentos em Área Urbana de Vitória de Santo Antão – PE. *Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade*, [S. l.], v. 7, n. 27, p. e2604, 2026.

DOI: [10.17271/a1k6a010](https://doi.org/10.17271/a1k6a010). Disponível

em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rlaac\\_sustentabilidade/article/view/6239](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/rlaac_sustentabilidade/article/view/6239). Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) License: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## **Mapeamento da Suscetibilidade a Alagamentos em Área Urbana de Vitória de Santo Antão–PE**

### **RESUMO**

**Objetivo** - Identificar e mapear as áreas suscetíveis a alagamentos em uma sub-bacia urbana localizada no município de Vitória de Santo Antão–PE, inserida na bacia do rio Tapacurá, por meio da análise integrada de critérios físicos e de uso e ocupação do solo, visando subsidiar o planejamento urbano e a gestão de riscos hidrológicos.

**Metodologia** - O estudo foi desenvolvido a partir de uma abordagem aplicada e exploratória, utilizando técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Foram empregados dados altimétricos do Modelo Digital do Terreno (MDT) do projeto Pernambuco 3D (PE3D), informações de uso e ocupação do solo do MapBiomas e ferramentas do QGIS e GRASS GIS para a delimitação da sub-bacia urbana, análise de declividade, fluxo acumulado e uso do solo. Os critérios foram reclassificados e integrados por meio de análise multicritério, permitindo a geração do mapa de suscetibilidade a alagamentos.

**Originalidade/relevância** - A originalidade do estudo reside na aplicação integrada de critérios físicos e antrópicos, com foco em uma sub-bacia urbana específica, frequentemente afetada por alagamentos, mas ainda pouco investigada sob a ótica da suscetibilidade espacial. A pesquisa contribui para o avanço das discussões acadêmicas sobre gestão de riscos hidrológicos em cidades de médio porte do Nordeste brasileiro.

**Resultados** - Os resultados evidenciaram a concentração de áreas com alta susceptibilidade a alagamentos ao longo da Avenida Mariana Amália e Henrique de Holanda, associadas principalmente à elevada impermeabilização do solo, baixos declives e maior acúmulo de fluxo superficial. O mapa final apresentou coerência com registros históricos e estudos anteriores, validando a metodologia adotada.

**Contribuições teóricas/metodológicas** - O trabalho contribui metodologicamente ao demonstrar a eficiência do uso de SIG e análise multicritério para a identificação de áreas suscetíveis a alagamentos sem a necessidade de modelagens hidrológicas complexas. Teoricamente, reforça a importância da integração entre fatores físicos e de uso do solo na análise de riscos urbanos.

**Contribuições sociais e ambientais** - Os achados oferecem subsídios técnicos para o planejamento urbano e a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação de alagamentos, especialmente no que se refere à drenagem urbana. Além disso, o estudo contribui para a redução de impactos socioambientais associados a eventos extremos, promovendo maior segurança e resiliência urbana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alagamentos urbanos. Geoprocessamento. Drenagem urbana. Vitória de Santo Antão.

## **Mapping Flood Susceptibility in an Urban Area of Vitória de Santo Antão–PE**

### **ABSTRACT**

**Objective** – To identify and map areas susceptible to flooding in an urban sub-basin located in the municipality of Vitória de Santo Antão–PE, within the Tapacurá River basin, through the integrated analysis of physical criteria and land use and occupation, aiming to support urban planning and hydrological risk management.

**Methodology** – The study was developed using an applied and exploratory approach, employing geoprocessing techniques within a Geographic Information System (GIS) environment. Altimetric data from the Digital Terrain Model (DTM) of the Pernambuco 3D Project (PE3D), land use and land cover information from MapBiomas, and tools from QGIS and GRASS GIS were used for the delimitation of the urban sub-basin, slope analysis, flow accumulation, and land use assessment. The criteria were reclassified and integrated through multicriteria analysis, enabling the generation of a flood susceptibility map.

**Originality/Relevance** – The originality of this study lies in the integrated application of physical and anthropogenic criteria focused on a specific urban sub-basin frequently affected by flooding but still underexplored from a spatial susceptibility perspective. The research contributes to advancing academic discussions on hydrological risk management in medium-sized cities in northeastern Brazil.

**Results** – The results revealed a concentration of areas with high flood susceptibility along Avenida Mariana Amália and Avenida Henrique de Holanda, mainly associated with high soil impermeability, low slopes, and increased surface



flow accumulation. The final map showed consistency with historical records and previous studies, validating the adopted methodology.

**Theoretical/Methodological Contributions** – Methodologically, the study demonstrates the effectiveness of GIS and multicriteria analysis in identifying flood-prone areas without the need for complex hydrological modeling. Theoretically, it reinforces the importance of integrating physical factors and land use in urban risk assessments.

**Social and Environmental Contributions** – The findings provide technical support for urban planning and the formulation of public policies aimed at flood mitigation, particularly regarding urban drainage. Additionally, the study contributes to reducing socio-environmental impacts associated with extreme events, promoting greater urban safety and resilience.

**KEYWORDS:** Urban flooding. Geoprocessing. Urban drainage. Vitória de Santo Antão.

## **Mapeo de la Susceptibilidad a Inundaciones en un Área Urbana de Vitória de Santo Antão–PE**

### **RESUMEN**

**Objetivo** – Identificar y mapear las áreas susceptibles a inundaciones en una subcuenca urbana ubicada en el municipio de Vitória de Santo Antão–PE, inserta en la cuenca del río Tapacurá, mediante el análisis integrado de criterios físicos y de uso y ocupación del suelo, con el fin de apoyar la planificación urbana y la gestión del riesgo hidrológico.

**Metodología** – El estudio se desarrolló a partir de un enfoque aplicado y exploratorio, utilizando técnicas de geoprocusamiento en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG). Se emplearon datos altimétricos del Modelo Digital del Terreno (MDT) del proyecto Pernambuco 3D (PE3D), información de uso y cobertura del suelo de MapBiomass y herramientas de QGIS y GRASS GIS para la delimitación de la subcuenca urbana, el análisis de pendientes, la acumulación de flujo y el uso del suelo. Los criterios fueron reclasificados e integrados mediante análisis multicriterio, permitiendo la generación del mapa de susceptibilidad a inundaciones.

**Originalidad/Relevancia** – La originalidad del estudio radica en la aplicación integrada de criterios físicos y antrópicos, con enfoque en una subcuenca urbana específica, frecuentemente afectada por inundaciones, pero aún poco investigada desde la perspectiva de la susceptibilidad espacial. La investigación contribuye al avance de las discusiones académicas sobre la gestión del riesgo hidrológico en ciudades medianas del noreste brasileño.

**Resultados** – Los resultados evidenciaron la concentración de áreas con alta susceptibilidad a inundaciones a lo largo de las avenidas Mariana Amália y Henrique de Holanda, asociadas principalmente a la elevada impermeabilización del suelo, pendientes suaves y mayor acumulación de escorrentía superficial. El mapa final presentó coherencia con registros históricos y estudios previos, validando la metodología adoptada.

**Contribuciones Teóricas/Metodológicas** – Metodológicamente, el trabajo demuestra la eficiencia del uso de SIG y del análisis multicriterio para la identificación de áreas susceptibles a inundaciones sin necesidad de modelaciones hidrológicas complejas. Desde el punto de vista teórico, refuerza la importancia de la integración entre factores físicos y el uso del suelo en el análisis de riesgos urbanos.

**Contribuciones Sociales y Ambientales** – Los hallazgos ofrecen insumos técnicos para la planificación urbana y la formulación de políticas públicas orientadas a la mitigación de inundaciones, especialmente en lo referente al drenaje urbano. Además, el estudio contribuye a la reducción de los impactos socioambientales asociados a eventos extremos, promoviendo una mayor seguridad y resiliencia urbana.

**PALABRAS CLAVE:** Inundaciones urbanas. Geoprocusamiento. Drenaje urbano. Vitória de Santo Antão.



**RESUMO GRÁFICO**





## 1 INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada e pouco planejada configura-se como um obstáculo significativo à promoção da sustentabilidade urbana. O avanço do tecido urbano, muitas vezes dissociado de diretrizes técnicas adequadas, tem resultado na ocupação de espaços ambientalmente vulneráveis. Além disso, a supressão da cobertura vegetal nativa e o aumento das superfícies impermeáveis constituem elementos que exercem influência direta sobre os sistemas ambientais, intensificando processos de degradação (Salem; Tsurusaki, 2024).

Nesse contexto, a adoção de estratégias voltadas ao manejo sustentável das águas pluviais tem sido apontada como alternativa para minimizar os impactos decorrentes da urbanização. Soluções fundamentadas na infraestrutura verde favorecem a infiltração da água no solo, reduzem o escoamento superficial e contribuem para a mitigação de alagamentos em áreas urbanas, tornando as cidades mais resilientes frente aos desafios impostos pelo crescimento urbano e pelas mudanças climáticas (Borges, 2024).

O aumento da recorrência e da magnitude dos eventos de inundação nas cidades tem acarretado impactos expressivos de ordem econômica, social e ambiental. A intensificação desses episódios está fortemente relacionada à ocupação inadequada das faixas marginais de cursos d'água, aliada à deficiência ou inexistência de sistemas eficientes de drenagem urbana. Esse cenário contribui para a ampliação da vulnerabilidade socioambiental, comprometendo tanto a integridade dos ecossistemas quanto a segurança das populações urbanas (Costa; Nascimento; Silva, 2020).

Paralelamente, as transformações associadas às mudanças climáticas globais têm provocado alterações significativas nos padrões pluviométricos, caracterizadas pelo aumento da ocorrência de eventos extremos. Destacam-se precipitações intensas concentradas em curtos intervalos de tempo, bem como períodos prolongados de estiagem, fatores que potencializam os processos de inundação em áreas urbanizadas e elevam os riscos hidrológicos nas cidades (Awode *et al.* 2025).

Os países em desenvolvimento apresentam maior vulnerabilidade aos impactos associados às inundações, registrando perdas materiais e imateriais mais expressivas quando comparados às nações desenvolvidas. Esse cenário está relacionado à maior frequência e intensidade desses eventos, impulsionados pelas mudanças climáticas, aliadas à limitada disponibilidade de recursos técnicos, financeiros e institucionais para a adoção de medidas eficazes de mitigação e adaptação (Razavi *et al.*, 2020).

Em decorrência do avanço das mudanças climáticas, observa-se uma tendência de aumento na recorrência de eventos extremos combinados, o que resulta na ampliação significativa dos riscos em distintas regiões do planeta. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, estima-se que mais de um bilhão de pessoas poderão estar expostas, até meados do século XXI, a ameaças climáticas associadas, como a inundação de áreas planas, processos erosivos e episódios de enchentes (IPCC, 2021). No cenário nacional, o município de Vitória de Santo Antão, localizado no interior do estado de Pernambuco, destaca-se pela ocorrência recorrente de eventos de inundação e enchentes, evidenciando sua vulnerabilidade frente a esses fenômenos.

Diante desse cenário, torna-se indispensável fortalecer o planejamento urbano orientado pela gestão de riscos e pela prevenção de desastres. A integração entre instrumentos



de planejamento territorial, gestão pública e participação social representa um importante mecanismo para aumentar a resiliência das cidades frente aos eventos hidrológicos extremos, reduzindo a vulnerabilidade das populações e promovendo o desenvolvimento urbano sustentável (Inaba; Inaba, 2024).

De acordo com o *Atlas Digital de Desastres no Brasil*, o município de Vitória de Santo Antão, localizado no estado de Pernambuco, ocupa a quinta posição entre os municípios pernambucanos com maior número de pessoas desabrigadas e desalojadas em decorrência de eventos hidrológicos extremos, evidenciando sua elevada vulnerabilidade a inundações (MDR, 2022). Esse panorama reforça a necessidade de instrumentos técnicos capazes de subsidiar ações de prevenção e redução de danos, especialmente em contextos urbanos sujeitos à recorrência de eventos extremos associados à dinâmica hidrológica.

Nesse sentido, o mapeamento do perigo de inundação constitui uma etapa fundamental para a formulação de estratégias de mitigação e gestão de riscos, conforme destacado por Namara *et al.* (2022). Assim, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um mapa de risco de inundações para o município de Vitória de Santo Antão, por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento, visando à identificação de áreas suscetíveis e à elaboração de mapas temáticos com índices de perigo, contribuindo para o planejamento urbano e a gestão de riscos no Nordeste brasileiro.

## **2 OBJETIVOS**

O presente estudo tem como objetivo geral identificar e mapear as áreas suscetíveis a alagamentos na região urbanizada da sub-bacia hidrográfica do rio Tapacurá, localizada no município de Vitória de Santo Antão, no estado de Pernambuco. Inicialmente, será realizada a delimitação e a caracterização da sub-bacia urbana, considerando aspectos físicos e de uso e ocupação do solo, de modo a compreender a dinâmica espacial associada aos eventos de alagamento.

Em uma etapa posterior, o trabalho propõe a identificação e a análise dos pontos críticos de alagamento no perímetro urbano, por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento e análise espacial. Essa abordagem permitirá reconhecer as áreas mais vulneráveis, bem como os condicionantes físicos que favorecem a ocorrência recorrente de alagamentos, especialmente aqueles relacionados à infraestrutura urbana existente.

Por fim, o estudo busca fornecer subsídios técnicos para o apoio à formulação e ao aprimoramento de políticas públicas voltadas à mitigação de alagamentos no município, com ênfase em ações relacionadas à infraestrutura urbana e aos sistemas de drenagem. A identificação das áreas críticas pretende contribuir para o planejamento urbano e para a redução dos impactos socioambientais associados aos eventos de alagamento em Vitória de Santo Antão.

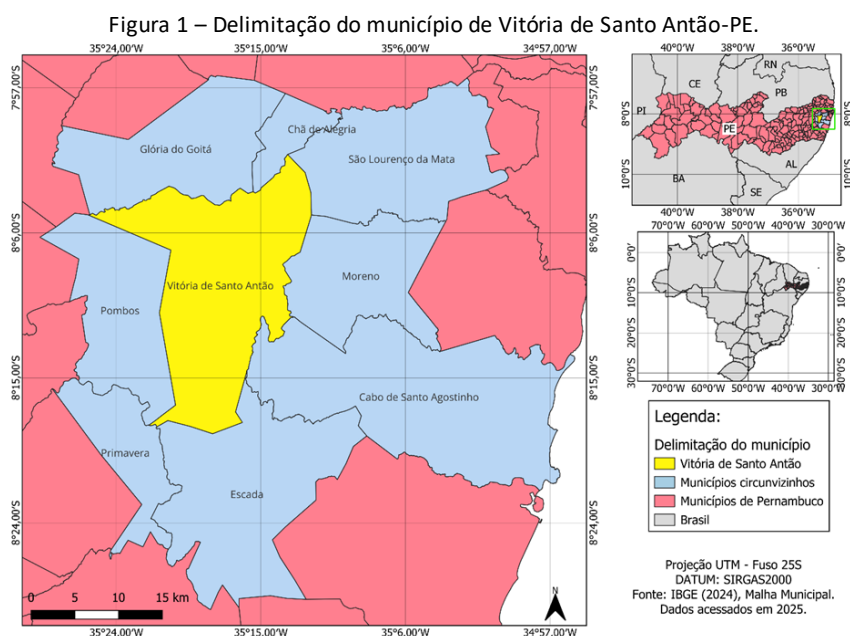
## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Área de estudo**

A área de estudo corresponde ao município de Vitória de Santo Antão, localizado no estado de Pernambuco, inserido na mesorregião da Mata Pernambucana e na microrregião de

Vitória de Santo Antão. O município apresenta limites territoriais com Glória de Goitá e Chã de Alegria ao norte, Primavera e Escada ao sul, Moreno, Cabo de Santo Agostinho e São Lourenço da Mata a leste, e Pombos a oeste (Miranda, 2015), conforme ilustrado na Figura 1. Essa configuração espacial insere o município em uma região de transição entre áreas urbanizadas e zonas de intensa atividade agrícola, influenciando sua dinâmica socioespacial e ambiental.

Vitória de Santo Antão localiza-se a aproximadamente 46 km da capital estadual, Recife, ocupando uma área territorial de 373,3 km<sup>2</sup>. Segundo estimativa populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o município possuía, em 2024, cerca de 143.799 habitantes (IBGE, 2025). O crescimento populacional contínuo observado nas últimas décadas está associado ao seu papel como polo econômico regional, bem como à sua proximidade com a Região Metropolitana do Recife. Esse processo de expansão urbana tem implicações diretas sobre a ocupação do solo e a demanda por infraestrutura, aspectos relevantes para a análise de áreas suscetíveis a alagamentos no município.



Fonte: Autores (2026).

A bacia hidrográfica do rio Tapacurá localiza-se no estado de Pernambuco e apresenta área de drenagem aproximada de 471 km<sup>2</sup>, abrangendo municípios como Vitória de Santo Antão, Pombos, Chã Grande e São Lourenço da Mata, além de influenciar diretamente áreas da Região Metropolitana do Recife. Inserido na bacia do rio Capibaribe, o rio Tapacurá exerce papel relevante na dinâmica hídrica regional, sendo fundamental tanto para o abastecimento de água quanto para a regulação de vazões e atenuação de cheias, especialmente em contextos urbanos (APAC, 2025; Miranda, 2015).

### 3.2 Mapa de uso e ocupação do solo

O mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Vitória de Santo Antão-PE foi desenvolvido por meio do software QGIS, com base nos dados fornecidos pelo projeto MapBiomias (2025). As informações geoespaciais, disponibilizadas em formato GeoTIFF, foram



obtidas a partir da plataforma oficial do MapBiomas e, posteriormente, submetidas a procedimentos de recorte espacial, de modo a restringir a análise à área correspondente aos limites administrativos do município estudado.

### **3.3 Delimitação da sub-bacia urbana**

A delimitação da sub-bacia hidrográfica de interesse e a definição do ponto de exutório foram realizadas a partir de um Modelo Digital do Terreno (MDT), obtido por meio da extensão *OpenTopography DEM* no software QGIS. Utilizou-se o modelo SRTM, com resolução espacial de 30 m e referência geográfica no sistema EPSG:4674 (SIRGAS 2000), o qual representa a superfície do terreno sem a inclusão de elementos como edificações ou cobertura vegetal.

O MDT foi inicialmente recortado com base nos limites administrativos do município de Vitória de Santo Antão, de modo a restringir a análise à área de interesse. Em seguida, procedeu-se ao tratamento da superfície topográfica por meio da ferramenta *r.fill.dir*, do complemento *GRASS GIS*, com a finalidade de eliminar depressões artificiais e corrigir a direção do escoamento superficial, resultando em um Modelo Digital de Elevação (MDE) hidrologicamente consistente.

A partir do MDE corrigido, aplicou-se a ferramenta *r.watershed* para a determinação da direção de fluxo, áreas de contribuição e divisores de água. O parâmetro referente ao tamanho mínimo do exterior da bacia foi definido como 100, valor estabelecido após testes empíricos visando a adequada representação das sub-bacias urbanas. Foram geradas, como produtos principais, as camadas de direção de drenagem, segmentos de fluxo e meias-bacias.

Com base nesses resultados, foi selecionado um segmento de fluxo associado a um afluente do rio Tapacurá, localizado em área urbana com histórico recorrente de alagamentos. A delimitação da sub-bacia correspondente foi então realizada por meio da ferramenta *r.water.outlet*, utilizando a camada de direção de drenagem e a coordenada geográfica do ponto de exutório, definido na confluência do afluente com o rio principal.

Por fim, a sub-bacia delimitada em formato raster foi convertida para o formato vetorial, possibilitando melhor manipulação no ambiente SIG. Aplicou-se ainda um processo de simplificação geométrica, com o objetivo de suavizar os limites do polígono e otimizar as análises espaciais subsequentes, sem comprometer a representatividade da área delimitada.

### **3.4 Identificação dos pontos suscetíveis a alagamentos**

A identificação das áreas suscetíveis a alagamentos foi realizada por meio de uma análise multicritério utilizando ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os critérios considerados foram uso e ocupação do solo, declividade e fluxo acumulado, conforme os parâmetros definidos na Tabela 1.



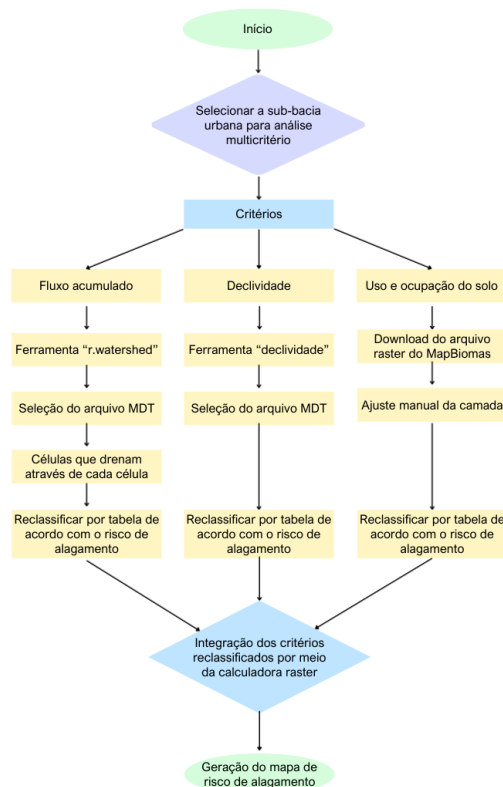
Tabela 1 – Parâmetros espaciais e valores para reclassificar as imagens de acordo com a susceptibilidade à inundação.

| Classe | Parâmetro   | Uso e ocupação do solo             | Declividade (%) | Fluxo acumulado |
|--------|-------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 1-     | Muito baixa | Com cobertura florestal            | >20             | 0-2000          |
| 2-     | Baixa       | Cobertura florestal em regeneração | 8-20            | 2000-4000       |
| 3-     | Moderada    | Cobertura florestal degradada      | 3-8             | 4000-8000       |
| 4-     | Alta        | Sem cobertura florestal            | 0-3             | >8000           |

Fonte: Adaptado de Vinhal; Oliveira; Giongo (2023), com base em Korah; López (2015).

Para tornar mais claro o processo metodológico adotado na elaboração do mapa de risco de alagamento, foi desenvolvido um fluxograma que sintetiza todas as etapas da análise multicritério. Esse fluxograma organiza de forma sequencial as fases de obtenção dos dados, seleção dos critérios, padronização das variáveis, aplicação dos pesos e integração final dos resultados, permitindo uma visualização objetiva e estruturada do procedimento. Assim, o fluxograma contribui para facilitar o entendimento do processo e assegurar a transparência e reprodutibilidade da metodologia utilizada (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma para obtenção do mapa de risco de alagamento da sub-bacia urbana.



Fonte: Autores (2026).

### 3.4.1 Geração de fluxo de acumulado



O fluxo acumulado foi obtido por meio do algoritmo *r.watershed*, disponível no *GRASS GIS*, utilizando como entrada o Modelo Digital do Terreno (MDT) do projeto PE3D (Programa de Modelagem Digital do Território do Estado de Pernambuco), correspondente ao elemento MDT-SC-25-V-A-II-1-NE-F-III. Para a análise, adotou-se o valor de 100 como tamanho mínimo de bacia.

Como produto de saída, foi selecionada a opção referente ao número de células que contribuem para o escoamento em cada célula, resultando em um raster de fluxo acumulado. Essa camada foi posteriormente recortada conforme os limites da sub-bacia em estudo. Em seguida, aplicou-se a ferramenta Reclassificar por Tabela, utilizando o raster de fluxo acumulado como dado de entrada, de acordo com os parâmetros definidos na Tabela 1, com o tipo de dado de saída estabelecido como *Int16*. O procedimento resultou na geração de uma camada reclassificada em quatro classes, representando diferentes níveis de risco de alagamento.

#### 3.4.2 Cálculo e reclassificação da declividade

A análise da declividade foi realizada com base no Modelo Digital do Terreno do projeto PE3D, empregando a ferramenta Declividade disponível no software QGIS, com os valores expressos em porcentagem. A camada resultante foi posteriormente ajustada aos limites da sub-bacia analisada por meio de recorte espacial.

Em seguida, procedeu-se à reclassificação da declividade utilizando a ferramenta Reclassificar por Tabela, conforme os intervalos estabelecidos na Tabela 1. Esse procedimento possibilitou a categorização da variável em quatro classes distintas, variando de 1 a 4, correspondentes aos diferentes níveis de risco de alagamento.

#### 3.4.3 Ajuste e reclassificação do uso e ocupação do solo

Os dados de uso e ocupação do solo foram obtidos do MapBiomas, porém apresentaram inconsistências na área de estudo, como a classificação generalizada como área urbana. Assim, realizou-se ajuste manual da base para adequação à realidade local. Após o recorte pela sub-bacia, a camada foi reclassificada por meio da ferramenta Reclassificar por Tabela, conforme a Tabela 1, resultando em quatro classes de risco de alagamento (1 a 4).

#### 3.4.4 Integração multicritério e geração do mapa de risco de alagamento

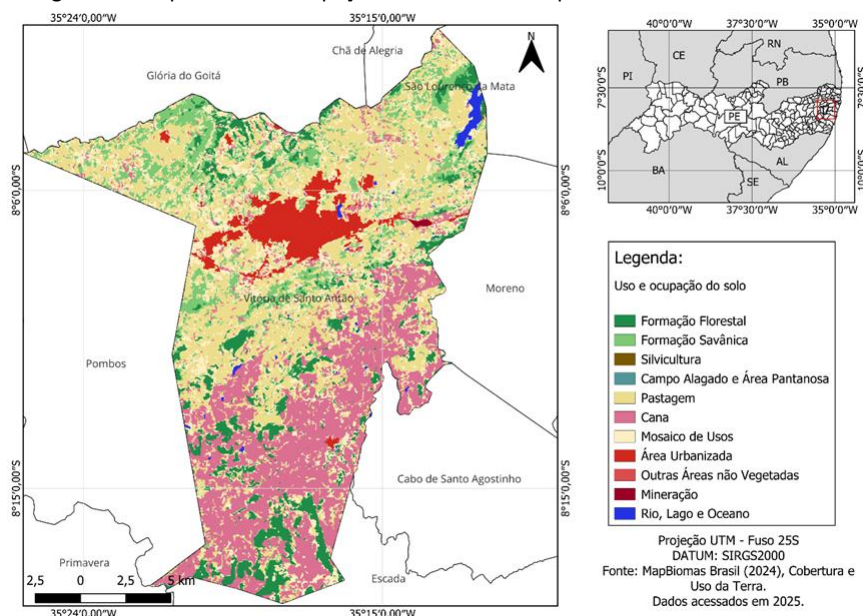
Por fim, a integração dos três critérios previamente reclassificados foi realizada por meio da ferramenta Calculadora Raster, disponível no software QGIS. Para essa etapa, foram atribuídos pesos específicos a cada camada temática, conforme a metodologia proposta por Vinhal, Oliveira e Giongo (2023), adotando-se 40% para o uso e ocupação do solo, 25% para a declividade e 35% para o fluxo acumulado. A atribuição desses pesos fundamentou-se em estudos consolidados da literatura internacional, nos quais abordagens semelhantes foram empregadas em análises de suscetibilidade a inundações, a exemplo dos trabalhos desenvolvidos por Korah e López (2015), Ouma e Tateishi (2014), Rincón *et al.* (2018), Popa *et al.* (2019) e Azua *et al.* (2019).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise espacial do uso e ocupação do solo

A interpretação do mapa de uso e ocupação do solo (Figura 3) revela o predomínio de atividades agropecuárias no território de Vitória de Santo Antão, com maior expressão espacial nas porções central e sul do município. Essas áreas são marcadas principalmente por extensas lavouras de cana-de-açúcar e pela presença de atividades pecuárias, configurando um padrão de uso rural dominante. As formações florestais ocorrem de maneira fragmentada e pouco contínua, distribuindo-se em pequenas manchas, sobretudo nas áreas periféricas do município. O tecido urbano, representado em vermelho no mapeamento, concentra-se na região central, delimitando o núcleo urbano principal e evidenciando o processo de expansão da cidade em direção às áreas rurais circunvizinhas.

Figura 3 – Mapa de uso e ocupação do solo do município de Vitória de Santo Antão-PE, 2024.



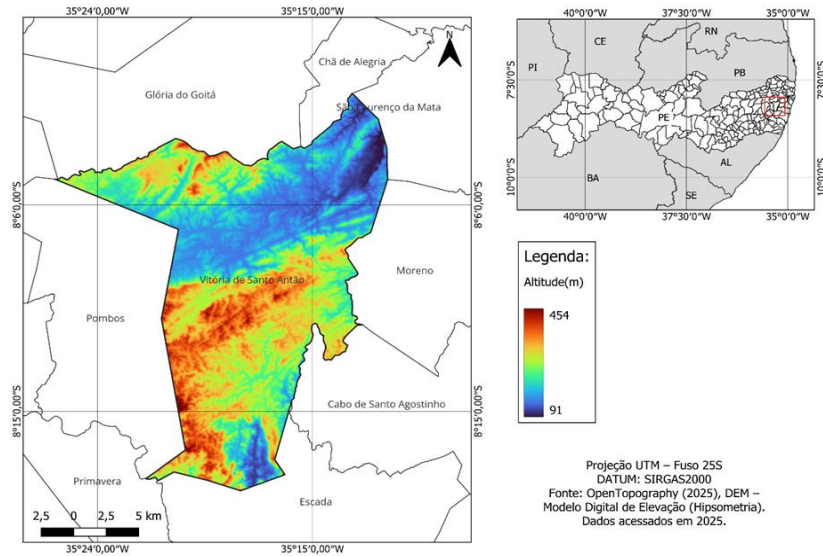
Fonte: Autores (2026).

### 4.2 Delimitação da sub-bacia urbana e localização do exutório

O processamento do Modelo Digital do Terreno (MDT) proveniente do arquivo do PE3D resultou no produto apresentado na Figura 4, no qual o modelo foi delimitado à área territorial do município. O recorte espacial aplicado possibilitou uma representação mais detalhada das feições topográficas locais, contribuindo para uma melhor compreensão do relevo da área de estudo. Esse procedimento foi fundamental para o delineamento da rede de drenagem e serviu de base para as etapas subsequentes da análise hidrológica.



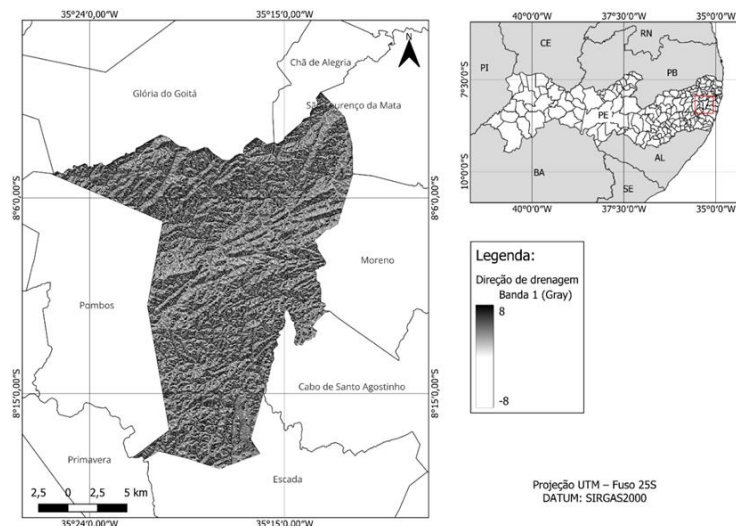
Figura 4 – Hipsometria do município de Vitória de Santo Antão-PE.



Fonte: Autores (2026).

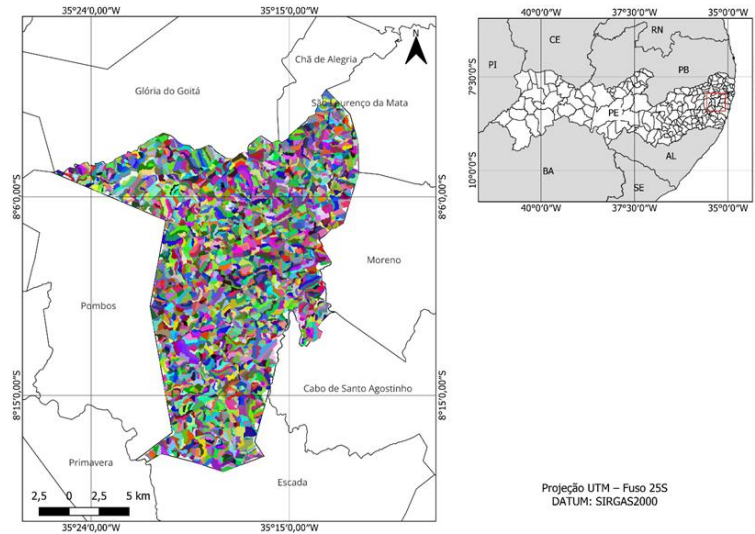
O processamento dos dados no ambiente GRASS GIS, integrado ao QGIS, possibilitou a obtenção das camadas de Direção de Drenagem (Figura 5), Microbacias (Figura 6) e Segmentos de Fluxo (Figura 7). Esses produtos constituem a base técnica para a delimitação das sub-bacias hidrográficas localizadas no perímetro urbano do município. A partir dessas informações, tornou-se possível identificar com maior precisão as áreas mais propensas à ocorrência de alagamentos, fornecendo subsídios para a análise hidrológica e o direcionamento de ações voltadas ao planejamento e à mitigação de impactos de forma sustentável.

Figura 5 – Direção de drenagem do município de Vitória de Santo Antão-PE.



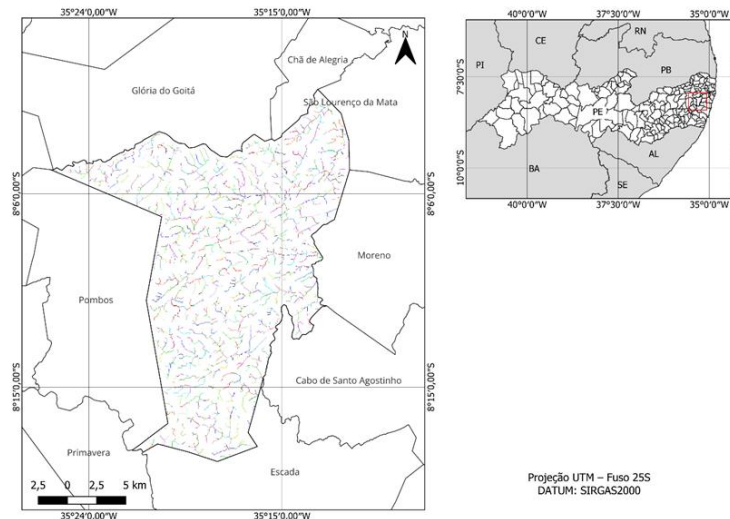
Fonte: Autores (2026).

Figura 6 – Micro-bacias do município de Vitória de Santo Antão-PE .



Fonte: Autores (2026).

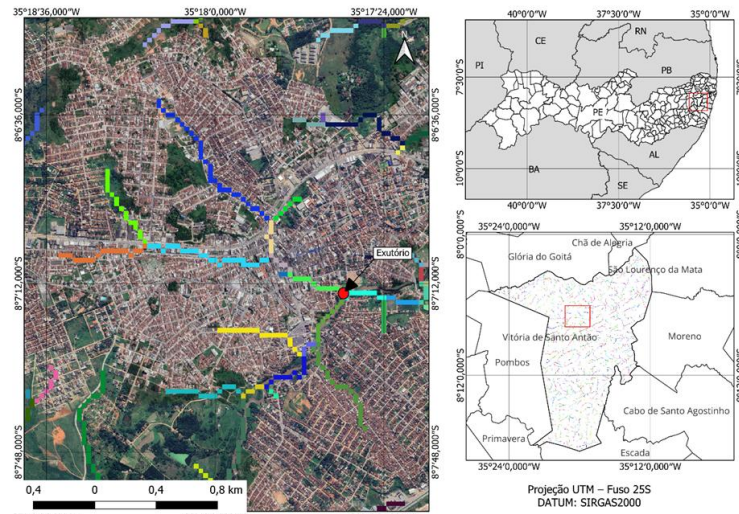
Figura 7 – Segmentos de fluxo do município de Vitória de Santo Antão-PE.



Fonte: Autores (2026).

Após a identificação da mancha urbana a partir do mapa de uso e ocupação do solo, procedeu-se à definição do ponto de exutório da sub-bacia urbana. O exutório foi estabelecido na confluência entre o canal de drenagem e o leito principal do rio Tapacurá, representando o ponto natural de saída do escoamento superficial da sub-bacia. Esse ponto, indicado graficamente por um marcador em vermelho (Figura 8), foi adotado como referência para a delimitação automática da área de drenagem associada, utilizando ferramentas de análise espacial em ambiente Sistema de Informações Geográficas (SIG).

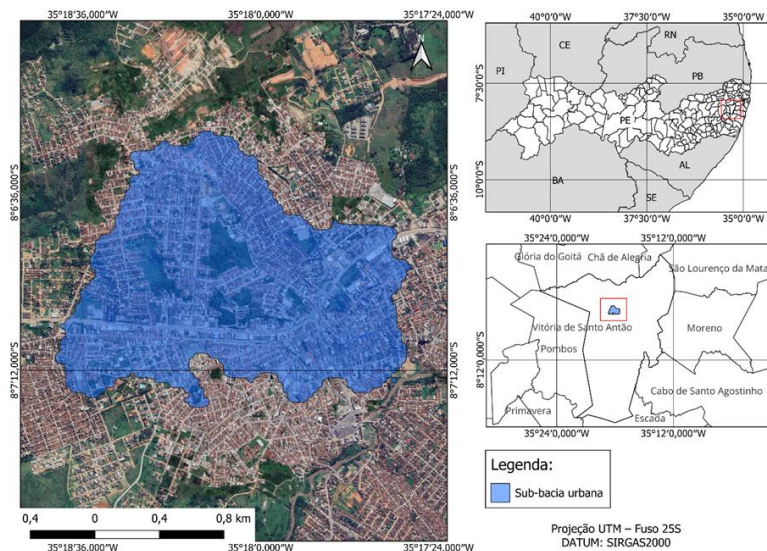
Figura 8 – Localização do exutório de sub-bacia urbana em Vitória de Santo Antão-PE.



Fonte: Autores (2026).

O processamento resultou na geração de um raster correspondente à área de contribuição hidrológica associada ao exutório definido, o qual foi posteriormente convertido para o formato vetorial. Esse procedimento possibilitou a obtenção de um polígono que representa de forma mais precisa os limites da sub-bacia de drenagem, evidenciado em azul na Figura 9.

Figura 9 – Delimitação de sub-bacia urbana em Vitória de Santo Antão-PE.



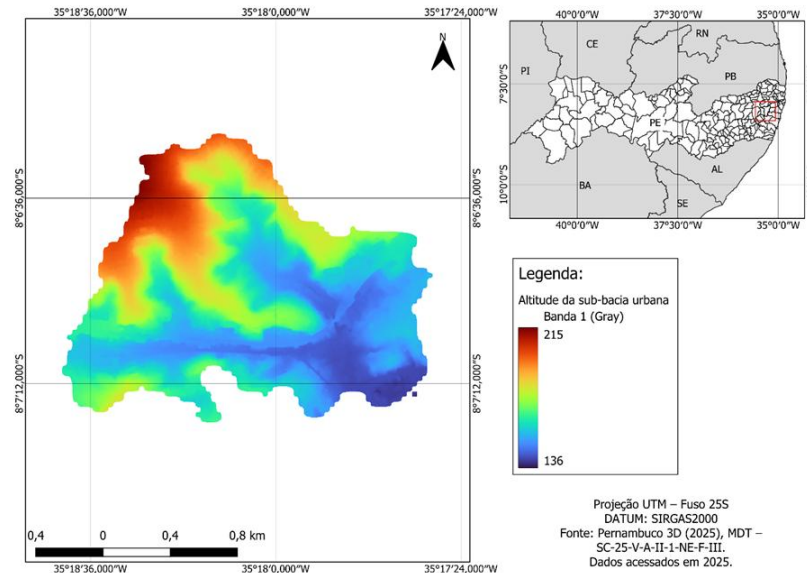
Fonte: Autores (2026).

#### 4.3 Delimitação da hipsometria da sub-bacia urbana

A partir do Modelo Digital do Terreno (MDT) do projeto PE3D, foi realizada a extração da camada hipsométrica correspondente ao limite da sub-bacia urbana previamente delimitada (Figura 10). Esse recorte permitiu a análise detalhada da variação altimétrica da área de

interesse no ambiente SIG, subsidiando a etapa de integração multicritério para a elaboração do mapa de suscetibilidade ao alagamento.

Figura 10 – Hipsometria de sub-bacia urbana em Vitória de Santo Antão-PE.

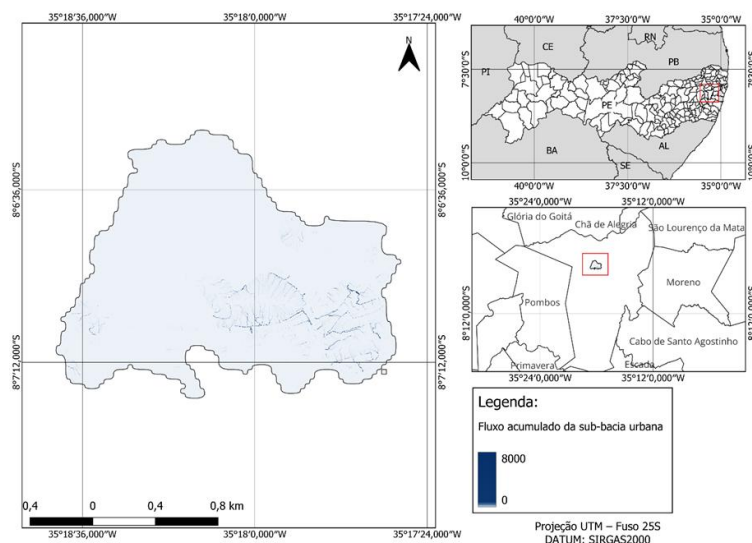


Fonte: Autores (2026).

#### 4.4 Fluxo acumulado da sub-bacia urbana

A análise do mapa de fluxo acumulado da sub-bacia urbana evidencia a estrutura da drenagem superficial e as áreas de maior concentração do escoamento. Os valores mais elevados de fluxo acumulado, representados pelos tons de azul mais escuros, concentram-se principalmente nas proximidades da Avenida Mariana Amália, indicando a convergência de grandes volumes de água superficial nesse setor. Observa-se também a presença de fluxos acumulados intensos nas imediações da Avenida Henrique de Holanda, reforçando a influência dos principais eixos viários na condução do escoamento superficial. Esse comportamento está associado tanto às características topográficas quanto ao elevado grau de impermeabilização do solo urbano (Zheng *et al.*, 2025). Nas demais áreas da sub-bacia, predominam valores mais baixos de fluxo acumulado, relacionados a setores com menor contribuição hidrológica direta. Esses resultados destacam áreas críticas da drenagem urbana e subsidiam a identificação de zonas com maior potencial de ocorrência de alagamentos.

Figura 11 – Fluxo acumulado de sub-bacia urbana em Vitória de Santo Antão-PE.

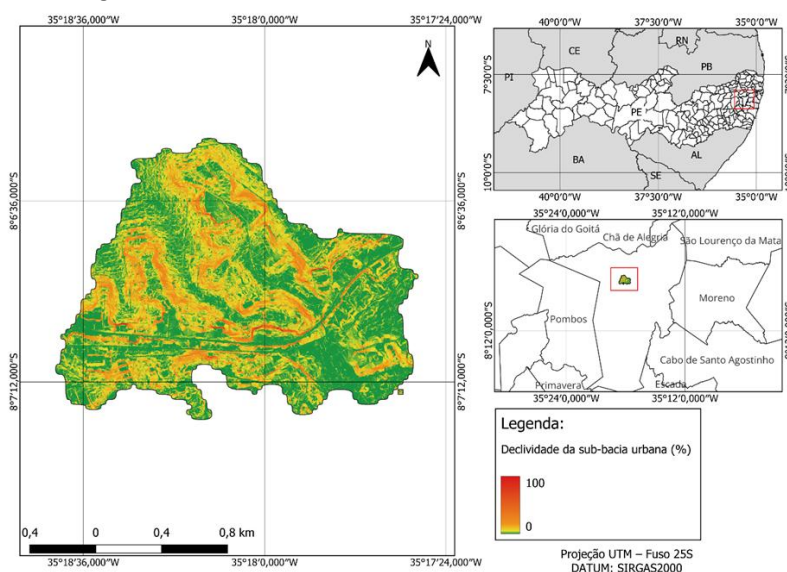


Fonte: Autores (2026).

#### 4.5 Declividade da sub-bacia urbana

O mapa de declividade da sub-bacia urbana (Figura 12), obtido a partir do MDT do PE3D, evidencia um relevo predominantemente suave a moderadamente ondulado, com valores de inclinação expressos em percentual, variando entre 1 e 100%. Observa-se que as menores declividades concentram-se nas áreas mais baixas e próximas aos eixos de drenagem, enquanto as maiores inclinações ocorrem de forma pontual, associadas às encostas e setores mais elevados da sub-bacia. Essa configuração topográfica favorece a redução da velocidade do escoamento superficial nas áreas de menor declive, contribuindo para a acumulação de água e, consequentemente, para o aumento da suscetibilidade a alagamentos. Após a reclassificação segundo os critérios da Tabela 1, a declividade passou a compor, de forma integrada, o mapa final de suscetibilidade ao risco de alagamento, destacando sua influência no padrão espacial das áreas mais vulneráveis dentro da sub-bacia urbana.

Figura 12 – Declividade de sub-bacia urbana em Vitória de Santo Antão-PE.



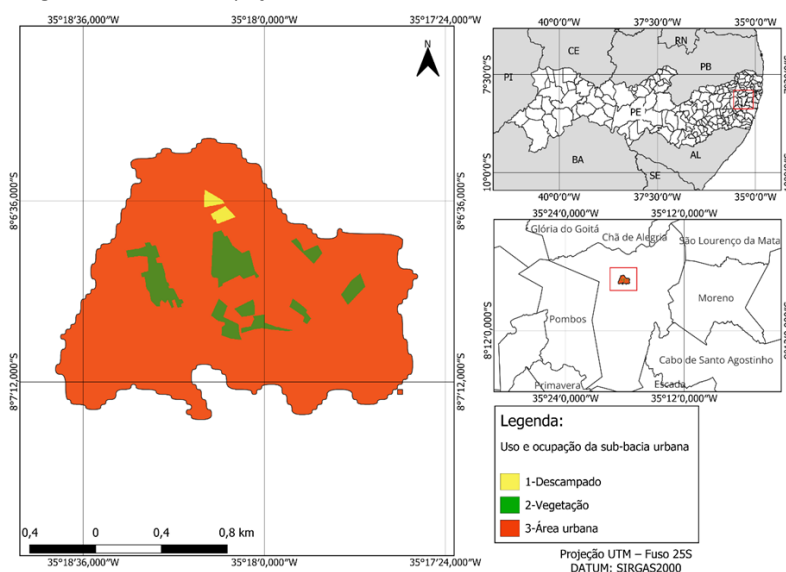
Fonte: Autores (2026).

#### 4.6 Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia urbana

O mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia urbana (Figura 13) evidencia o predomínio expressivo da área urbana, que ocupa a maior parte do território analisado, refletindo um elevado grau de impermeabilização superficial. Essa condição favorece o aumento do escoamento superficial e reduz a infiltração da água no solo, configurando um fator determinante para a intensificação dos processos de alagamento. As áreas classificadas como vegetação aparecem de forma fragmentada e descontínua, concentrando-se principalmente em setores internos da sub-bacia, enquanto as áreas descampadas ocorrem de maneira pontual e em menor proporção.

Após a aplicação dos critérios definidos na Tabela 1, a camada de uso e ocupação do solo foi incorporada à análise integrada para a elaboração do mapa de suscetibilidade ao alagamento, contribuindo de forma relevante para a identificação e espacialização das áreas com maior vulnerabilidade hidrológica dentro da sub-bacia.

Figura 13 – Uso e ocupação do solo de sub-bacia urbana em Vitória de Santo Antão-PE.

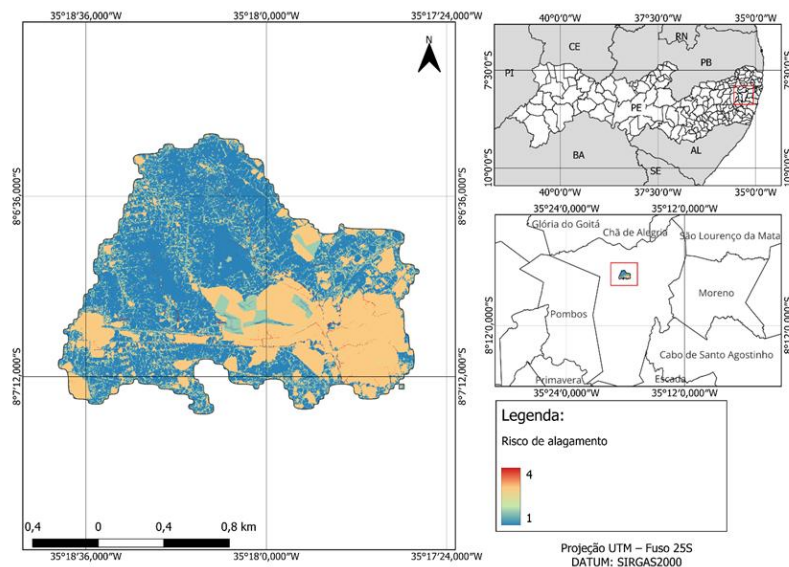


Fonte: Autores (2026).

#### 4.7 Integração multicritério e geração do mapa de risco de alagamento

O mapa de suscetibilidade a alagamentos obtido a partir da integração dos critérios apresentados na Tabela 1 evidencia a distribuição espacial dos diferentes níveis de risco na sub-bacia urbana localizada no município de Vitória de Santo Antão-PE. Observa-se a predominância de áreas classificadas com baixo a médio risco, representadas pelas classes 1 e 2, concentradas principalmente nas porções com maior declividade e menor interferência antrópica. Em contrapartida, as áreas de maior suscetibilidade, correspondentes às classes 3 e 4, apresentam-se associadas às zonas mais planas, intensamente urbanizadas e próximas aos canais de drenagem, refletindo a influência combinada do uso e ocupação do solo, da topografia e do acúmulo de fluxo superficial. Esses resultados corroboram a eficácia da abordagem multicritério empregada, permitindo identificar setores prioritários para ações de planejamento urbano, manejo da drenagem e mitigação de alagamentos, constituindo assim o principal produto e contribuição deste estudo.

Figura 14 – Mapa de susceptibilidade a alagamento de sub-bacia urbana em Vitória de Santo Antão-PE.



Fonte: Autores (2026).

Os resultados alcançados neste trabalho estão em consonância com evidências já reportadas na literatura. Miranda *et al.* (2017) apontam que a área apresenta histórico recorrente de alagamentos, associados principalmente a falhas no sistema de drenagem urbana e ao alto grau de impermeabilização do solo. De modo convergente, Chaves (2023) identificou a mesma região como um dos principais focos de alagamentos do município, sobretudo em episódios de chuvas intensas, em função da limitada capacidade de escoamento superficial e da presença de trechos com cotas topográficas mais baixas, favorecendo o acúmulo de água.

Ao serem confrontados com o mapa de risco elaborado neste estudo, os trabalhos anteriores reforçam a robustez dos resultados obtidos, indicando que se caracteriza como uma área de elevada susceptibilidade a alagamentos. Essa condição está em plena concordância com o padrão já identificado em investigações precedentes, confirmando a recorrência e a persistência da vulnerabilidade hidrológica nesse setor urbano.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitiram identificar e espacializar as áreas com maior susceptibilidade a alagamentos em uma sub-bacia urbana do município de Vitória de Santo Antão-PE, evidenciando a eficácia da abordagem baseada em geoprocessamento e análise multicritério em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). A integração dos critérios de fluxo acumulado, declividade e uso e ocupação do solo possibilitou a construção de um mapa síntese capaz de representar, de forma consistente, a variabilidade espacial do risco hidrológico, destacando setores urbanos mais vulneráveis aos processos de acúmulo superficial de água.

A análise dos resultados revelou que as áreas classificadas com maior suscetibilidade concentram-se principalmente em trechos urbanizados caracterizados por elevada impermeabilização do solo, baixas declividades e maior convergência de fluxos superficiais, com



destaque para regiões próximas às avenidas Mariana Amália e Henrique de Holanda. Esses achados apresentam forte concordância com registros históricos e estudos anteriores realizados no município, reforçando a confiabilidade do método empregado e confirmando a recorrência de alagamentos em áreas já reconhecidas como críticas pela literatura técnica.

Dessa forma, o mapa de suscetibilidade gerado configura-se como uma ferramenta de apoio relevante para o planejamento urbano e a gestão de riscos, podendo subsidiar a formulação de políticas públicas voltadas à melhoria da infraestrutura de drenagem e à mitigação de impactos associados a eventos extremos de precipitação. Além disso, a metodologia adotada mostra-se replicável para outras áreas urbanas com características semelhantes, contribuindo para o fortalecimento de estratégias preventivas e para a promoção de um desenvolvimento urbano mais resiliente frente aos riscos hidrológicos.

## REFERÊNCIAS

- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacia hidrográfica do Rio Capibaribe**. Disponível em: <http://200.238.107.184/bacias-hidrograficas/40-bacias-hidrograficas/193-bacia-do-rio-capibaribe>. Acesso em: 24 jan. 2026.
- AWODE, A. E.; ADEWUMI, J. R.; OBIORA-OKEKE, O.; KOMOLAFE, A. A. Analysis of rainfall variability and extreme events in South-Western Nigeria: implications for water resource management and climate resilience. **Bulletin of the National Research Centre**, v. 49, art. 31, 2025. DOI: 10.1186/s42269-025-01324-4. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s42269-025-01324-4>. Acesso em: 24 jan. 2026.
- AZUA, S.; YOUNGU, T. T.; ALIYU, Y. A.; SHEBE, M. W.; SULE, J. O. Spatial Multi-Criteria Analysis for Mapping of Flood Vulnerable Areas in Fagge Local Government Area of Kano State, Nigeria. **FUTY Journal of the Environment**, v. 13, n. 1, p. 23–35, 2019.
- BORGES, G. Porosidade urbana: infraestrutura verde como gestora das águas em meio urbano em Santa Fé de Goiás. **Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade**, [S. l.], v. 5, n. 23, 2024. DOI: 10.17271/0e5r3e69.
- CHAVES, J. V. B. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica com geração de mapas de perigo de inundação na bacia do Tapacurá**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.
- COSTA, C. R.; NASCIMENTO, N. O.; SILVA, C. A. S. Inundações Urbanas: causas, impactos e estratégias de enfrentamento. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 1, p. 15–30, 2020.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Vitória de Santo Antão**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/vitoria-de-santo-antao.html>. Acesso em: 24 jan. 2026.
- INABA, D. V. B.; INABA, M. Y. B. Construyendo ciudades resilientes: planificación urbana, marco legal y comunidades frente a desastres. **Revista Latino-Americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade**, Tupã, v. 5, n. 20, 2024.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editado por V. Masson-Delmotte et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: 10.1017/9781009157896.
- KORAH, P. I.; LÓPEZ, F. M. J. Mapping flood vulnerable areas in Quetzaltenango, Guatemala using GIS. **Journal of Environmental and Earth Science**, v. 5, n. 6, p. 132–143, 2015.



MAPBIOMAS. **Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil**. Disponível em:

<https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 24 jan. 2026.

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Brasília: MDR, 2022. Disponível em: <http://atlasdigital.mdr.gov.br/>. Acesso em: 24 jan. 2026.

MIRANDA, M. R. B. **Análise da vulnerabilidade a inundações no médio curso do rio Tapacurá, cidade de Vitória de Santo Antão – PE**. 2015. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MIRANDA, M. R. B.; BARBOSA NETO, M. V.; MENEZES JÚNIOR, E. M.; GIRÃO, O. Análise do perigo de inundação na bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE. **Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, Campinas, SP, v. 1, [s.n.], p. 99–110, 2017.

NAMARA, W. G.; DAMISSE, T. A.; TUFA, F. G. Application of HEC-RAS and HECGeoRAS model for flood inundation mapping, the case of Awash Bello flood plain, Upper Awash River Basin, Oromiya regional state, Ethiopia. **Modeling Earth Systems and Environment**, [S. l.], v. 8, p. 1449–1460, 2022.

OUMA, Y. O.; TATEISHI, R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment. **Water (Switzerland)**, v. 6, n. 6, p. 1515–1545, 2014.

POPA, M. C. et al. Flood hazard mapping using the Flood and Flash-Flood Potential Index in the Buzău River catchment, Romania. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 10, 2019.

RAZAVI, S.; GOBER, P.; MAIER, H. R.; BROUWER, R.; WHEATER, H. Anthropocene flooding: Challenges for science and society. **Hydrological Processes**, [S. l.], v. 34, n. 8, p. 1996–2000, 2020.

RINCÓN, D.; KHAN, U. T.; ARMENAKIS, C. Flood risk mapping using GIS and multicriteria analysis: A Greater Toronto Area case study. **Geosciences (Switzerland)**, v. 8, n. 8, 2018.

SALEM, M.; TSURUSAKI, N. Impacts of rapid urban expansion on peri-urban landscapes in the Global South: insights from landscape metrics in Greater Cairo. **Sustainability**, Basel, v. 16, n. 6, p. 2316, 2024. DOI: 10.3390/su16062316. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/6/2316>. Acesso em: 24 jan. 2026.

SANTOS, D. D. **Modelagem e propostas de intervenções para mitigação de alagamentos em áreas urbanas: aplicação de um modelo hipotético no SWMM em uma sub-bacia do rio Tapacurá**. 2026. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM), Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru, 2026.

VINHAL, C. P.; OLIVEIRA, M. S. de; GIONGO, P. R. **Geoprocessamento aplicado ao estudo de risco a alagamento**. Quirinópolis: Universidade Estadual de Goiás – PPG Ambiente e Sociedade, 2023. Disponível em: [https://www.anais.ueg.br/index.php/sepe\\_sudoeste/article/view/16059](https://www.anais.ueg.br/index.php/sepe_sudoeste/article/view/16059). Acesso em: 26 jan. 2026.

ZHENG, Yin; LIU, Gong; ZHENG, Zhi; LI, Xinru. Sustainable stormwater management: runoff impact of urban land layout with multi-level impervious surface coverage. **Sustainability**, v. 17, n. 8, p. 3511, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/8/3511>. Acesso em: 26 jan. 2026.



---

## DECLARAÇÕES

---

### CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Diego Deyvison dos Santos
- **Curadoria de Dados:** Autores
- **Análise Formal:** Diego Deyvison dos Santos
- **Aquisição de Financiamento:** Autores
- **Investigação:** Diego Deyvison dos Santos
- **Metodologia:** Diego Deyvison dos Santos
- **Redação - Rascunho Inicial:** Diego Deyvison dos Santos
- **Redação - Revisão Crítica:** Erika Alves de Meneses
- **Revisão e Edição Final:** Erika Alves de Meneses e Edevaldo Miguel Alves
- **Supervisão:** Diogo Henrique Fernandes da Paz e Edevaldo Miguel Alves

---

### DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Diego Deyvison dos Santos, Diogo Henrique Fernandes da Paz e Erika Alves de Meneses, declaramos que o manuscrito intitulado **Mapeamento da Suscetibilidade a Alagamentos em Área Urbana de Vitória de Santo Antão-PE:**

1. **Vínculos Financeiros:** Não possui/possui vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho. Nenhuma instituição ou entidade financiadora esteve envolvida no desenvolvimento deste estudo.
  2. **Relações Profissionais:** Não possui/possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados. Nenhuma relação profissional relevante ao conteúdo deste manuscrito foi estabelecida.
  3. **Conflitos Pessoais:** Não possui/possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito. Nenhum conflito pessoal relacionado ao conteúdo foi identificado.
-